

**KORTREIST  
STEIN**

# Notat

Hvordan oppnå en mer pålitelig bedømming av bergarters mekaniske styrke ved vurdering av overskuddsmasser fra tunnelanlegg?

## **Forfatter**

Roar Nålsund (Bane NOR)

Dato	Versjon	Dokumentnummer
2019-10-08	2.0	015

Prosjektet Kortreist steins publikasjoner er utarbeidet av fagfolk hos partnerne i prosjektet. Det er gjort det ytterste for å sikre at innholdet er i samsvar med kjent viten på det tidspunktet prosjektet ble avsluttet. Feil eller mangler kan likevel forekomme.

Prosjektet Kortreist stein, forfattere og prosjektledelsen har intet ansvar for feil eller mangler i publikasjoner og mulige konsekvenser av disse.

Det forutsettes at publikasjonen benyttes av kompetente og fagkyndige personer med forståelse for begrensningene og forutsetningene som legges til grunn.

# Innholdsfortegnelse

<i>Sammendrag norsk</i> .....	3
<i>Summary in English</i> .....	4
<i>1. Innledning</i> .....	6
<i>2. Mekanisk styrke ved Los Angeles (LA)-metoden</i> .....	7
2.1 Effekt av steinstørrelse .....	7
2.2 Steinmaterialers potensiale for finstoffproduksjon .....	8
2.3 Effekt av fuktinnhold .....	10
<i>3. Forvitring i dagfjellsonen</i> .....	12
3.1 Renaissance for fallhammermetoden .....	12
3.2 Eksempelet Sefrivatn pukverk .....	14
<i>4. Blanding av svake og sterke steinmaterialer</i> .....	15
<i>5. Referanser</i> .....	16

## BILAG/VEDLEGG

Ingen.

## Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2019-09-17	Endelig notat
2.0	2019-10-08	Mindre revisjon ifm. Korrigert notatmal



## Sammendrag norsk

Foreliggende notat er utarbeidet som et innspill i prosjektet Kortreist steins arbeidspakke H3 – Produksjon og anvendelse, og relateres til diskusjon omkring hvilke forundersøkelser som bør gjennomføres med tanke på anvendelse av overskuddsmasser. Notatet er utarbeidet av og med bakgrunn i PhD-arbeidet til Roar Nålsund med tittel "Railway Ballast Characteristics, Selection Criteria and Performance", og belyser hvordan forundersøkelser knyttet til bruk av overskuddsmasser utføres i dag samt hvilke usikkerheter, men også muligheter, det ligger i både testmetoder og -resultater. Råd og funn kan oppsummeres som følger:

- Los Angeles-verdi bør testes på fraksjoner som er lik steinstørrelsen i tiltenkt anvendelse.
  - Los Angeles testes på forskjellige fraksjoner avhengig om materialet er tiltenkt brukt som jernbanepukk (LA<sub>RB</sub>; 31,5/50 mm) eller til vegformål (LA0/14 mm). Førstnevnte gir gjerne bedre (lavere) LA-verdi enn sistnevnte eksempelvis for bergarter med lav skifrighet.
- Måling av Los Angeles-verdi på våte prøver gir et mer realistisk bilde av bergartens styrke enn ved tørr prøving.
  - Felsiske bergarter (det vil si bergarter med høyt innhold av kvarts og feltspat) har ved prøving vist styrkeøkning (lavere LA-verdi) ved våt testing, mens bergarter med høyt innhold av mafiske mineraler (amfibol) har ved prøving vist en betydelig reduksjon i styrken (høyere LA-verdi).
  - Våt-testing i laboratoriet er mer arbeidskrevende enn testing på tørt materiale.
- Steinmaterialenes potensiale for finstoffproduksjon bør kontrolleres.
  - Finstoffproduksjon under gjentakende belastning på en veg eller en jernbane er ugunstig, både med tanke på å redusere indre friksjon ved fuktpåkjenning samt telehiv.
  - Ulike bergarter kan produsere høyst ulike mengder med finstoff ved knusing.
  - Det er ingen sammenheng mellom målt LA-verdi og finstoffproduksjon.
  - Videre undersøkelser av disse forholdene anbefales.
- Prøvetaking for analyse av egnethet av overskuddsmasser bør skje under dagfjellsonen.
  - Dagfjellsonen kan være forvitret og skjule en underliggende og sterkere bergmasse.
  - Fallprøven eller Fallhammermetoden, som er trukket tilbake, bør få en renessanse. Den kan påvise om en steinprøve stammer fra forvitret bergmasse med tilhørende redusert mekanisk styrke, gjennom at man sammenlikner sprøhetstallet fra første og andre gangs (omslag) knusing. Hvis styrkeforbedringen ved annen gangs knusing er merkbar, er dette et varsel om at underliggende berg vil ha en bedre mekanisk styrke enn prøven fra dagfjellsonen.
  - Pukkverk som har utfordringer med å få steinmaterialet sitt godkjent på grunn av for høye Los Angeles- verdier bør undersøke om de driver i dagfjellsonen.
  - Ved forundersøkelser til tunnelanlegg der prøvetaking nødvendigvis må foregå i tilgjengelige vegskjæringer eller på bergblotninger, vil styrketesting av overflateprøver ved hjelp av Los Angeles-metoden kunne undervurdere den framtidige overskuddsmassens mekaniske styrke. Testing med fallprøvemethoden anbefales.
- Det kan ligge mulige utfordringer forbundet med blanding av ulike kvaliteter overskuddsmasser.
  - Tilsetting av en sterk bergart gjør ikke nødvendigvis et svakt steinmateriale sterkere.
  - Det er fra prøving indikasjoner på at bergarter med sammenliknbar densitet og/eller stivhet (E-modul), men med ulik styrke definert ved LA-tallet, kan ha positiv effekt av blanding. Det er fra prøving videre indikert at når bergartsdensitetene til to bergarter er betydelig forskjellig, kan resultatet (styrken målt ved LA-tall) bli ganske mye dårligere enn den dårligste av bergartene.
  - Videre undersøkelser av disse forholdene anbefales.



## Summary in English

The present memo is prepared as a contribution to Work Package H3 – Production and Application in Kortreist stein, and is related to the discussion about which pre-investigations should be focused towards investigation of utilization possibilities for surplus materials from tunnels etc. The memo is written by Roar Nålsund and is based on the work in his PhD "Railway Ballast Characteristics, Selection Criteria and Performance".

The memo describes issues connected to pre-investigations and how this is performed today, and also what kind of uncertainties, but also possibilities, that lies in both test methods and results. Advises and findings may be summarized as follows:

- Los Angeles test should be performed on fractions that is relevant for the intended use.
  - In Norway, Los Angeles is tested on various fractions depending on utilization as railway aggregates ( $LA_{RB}$ ; 31,5/50 mm) or for road purposes (LA; 10/14 mm, independent on where in the road construction). Test results show that the  $LA_{RB}$  may give better (lower) LA-values than the latter fraction for rock types with low schistosity, foliation etc.
- Measuring wet Los Angeles gives a more realistic picture of the rock strength than dry testing.
  - Felsic rocks (quartz and feldspar dominated) show through testing a strength increase (lower LA value) when tested wet, while rocks with a high content of mafic minerals (e.g. amphibole) have given a pronounced strength reduction (higher LA value)).
  - Wet LA-testing gives a bit more comprehensive test procedure than testing of dry rock material.
- Rocks potential for fines production during testing should be investigated.
  - Generation of fines when aggregates are exposed to repeated load in a road or railway construction is unwanted, both due to the risk of frost heave and also the potential for reduction of internal friction during moisture exposure.
  - Various rocks may produce very various quantity of fines during churning.
  - There is not found any correlation between measured LA value and production of fines.
  - Further investigation of these issues is recommended.
- Sampling for analyses of suitability of rock materials should be avoiding surface exposed areas.
  - The uppermost "layer" of an area may be weathered and may represent a "cap" over fresh, and more suitable rock material.
  - "Fallprøven" or "Falling hammer test", which is withdrawn as a standard test method for strength evaluation of aggregates, should be regarded as a suitable method for evaluation of degree of weathering of the rock, and thus suitability. The method may identify whether a rock sample originates from a weathered rock mass with correspondingly low mechanical strength. This is possible when comparing the brittleness value ("sprøhetstallet") from the first and the second churning step ("omslag"). If the strength increase is noticeable, this indicates that underlying rock material may be better in strength and thus better suited for applications.
  - Aggregate producers having problems with fulfilling strength requirements because of too high LA values should investigate whether this is due to extraction of weathered/influenced surface material.
  - During pre-investigations of tunnelling projects, where sampling typically must be restricted to exposed areas due to practical and technical reasons, strength testing of surface samples with the utilization of the "Falling hammer test" is recommended.



- Mixing of various rock materials to "smoothen" and/or improve the strength quality defined by Los Angeles may be challenging.
  - Mixing of a weak rock with a strong rock does not necessarily mean a stronger assembled aggregate.
  - Testing indicates that rocks with comparable densities and/or E modulus, but with various strength defined by the LA value, may have positive effect of the total strength of a batch. Testing also indicates that when the rock density is very differing, mixing of those rocks may actually result in that the final strength results, measured as the LA-value, may be less than the weakest rock (reduced strength).
  - Further investigation of these issues is recommended.



## 1. Innledning

Foreliggende notat er et meningsnotat utarbeidet av og med bakgrunn i PhD-arbeidet til Roar Nålsund med tittel "Railway Ballast Characteristics, Selection Criteria and Performance" [1].

Notatet er utarbeidet som et innspill i prosjektet Kortreist steins arbeidspakke H3 – Produksjon og anvendelse, og relateres til diskusjon omkring hvilke forundersøkelser som bør gjennomføres med tanke på anvendelse av overskuddsmasser. Notatet beskriver tre ulike måter som anses å kunne øke påliteligheten til forundersøkelser av overskuddsmasser fra anlegg i fjell. Disse tre er:

- Mekanisk styrke bør bestemmes ved våt Los Angeles-styrke.
- Steinmaterialenes potensiale for finstoffproduksjon bør kontrolleres.
- Prøvetaking bør skje under dagfjellsonen. Dagfjellsonen kan være forvitret og skjule en underliggende og sterkere bergmasse.

Notatet fokuserer også rundt mulige utfordringer forbundet med blanding av ulike kvaliteter overskuddsmasser, og det erkjennes at:

- Tilsetning av en sterk bergart gjør ikke nødvendigvis et svakt steinmateriale sterkere.

Notatet belyser hvordan forundersøkelser knyttet til bruk av overskuddsmasser utføres i dag, og hvilke usikkerheter det ligger i både testmetoder og -resultater.



## 2. Mekanisk styrke ved Los Angeles (LA)-metoden

### 2.1 Effekt av steinstørrelse

Måling av bergarters mekaniske styrke utføres i hovedsak ved bruk av Los Angeles-metoden beskrevet i analysestandarden NS-EN 1097-2. Det finnes to varianter av prosedyren; en for steinfraksjon 10/14 mm og en for steinfraksjon 31,5/50 mm avhengig av om det er til veg- eller jernbaneformål.

Når steinmaterialer skal vurderes med hensyn på mekanisk styrke, bør analysen baseres på prinsippet om at den utføres med de steinstørrelsene som det er mest av i den brukte graderingen. Her finnes selvfølgelig noen praktiske begrensninger. Det er mest av (basert på vekt) de kornstørrelsene som tilhører den grovste delen av siktekurven. Statens vegvesen følger ikke dette prinsippet og bruker analysefraksjon 10/14 mm som standard uansett gradering. På den annen side bruker Bane NOR den grove analysefraksjonen 31,5/50 mm når materialer til ballastpukk skal bedømmes. Det er god grunn til å spørre seg i hvilken grad analysefraksjon 10/14 mm gir en riktig bedømmelse av steinmaterialets mekaniske styrke når største steinstørrelse langt overskrider 14 mm. Fraksjonen 10/14 mm er på ingen måte representativ for sorteringer med største steinstørrelse større enn 32 mm.

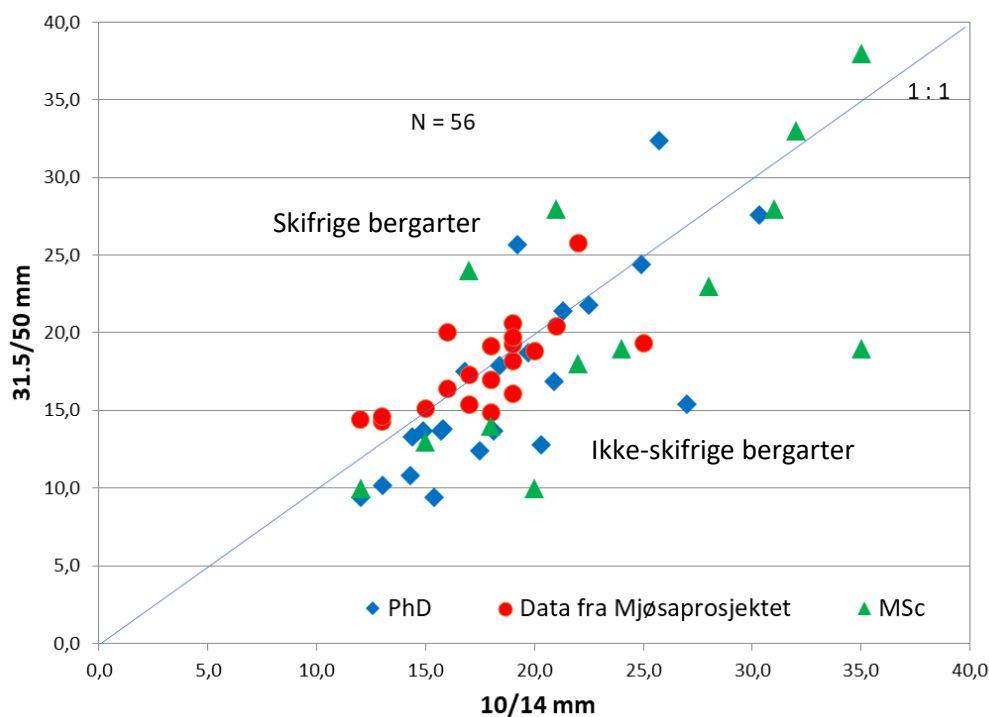
Bakgrunnen for at Statens vegvesen konsekvent bruker analysefraksjon 10/14 mm er praktiske begrensninger rundt arbeidet med å hente inn eller skaffe til veie egnet analysemateriale. Ballastpukk til jernbane produseres i – for jernbane – dedikerte pukkverk, og tilhørende analysefraksjon er derfor lett å få tak i. Analyse av steinmaterialer til vegbygging, for eksempel sortering 20/150 mm, starter ofte ved at større steiner fra felt må tas med inn i laboratoriet og knuses i en laboratorieknuser for å lage fraksjonen 10/14 mm. Dersom Statens vegvesen vil bruke den grove analysefraksjonen for å undersøke sorteringen 20/150 mm, må prøvematerialet med riktig diameter skaffes til veie enten ved sikting i felt eller ved laboratorieknusing av innhentede prøver av sorteringen. Det første alternativet krever mye tungt siktearbeid i felt. Det andre alternativet er nesten umulig å gjennomføre fordi en vanlig laboratorieknuser har for liten åpning i knusekammeret til å kunne lage steinkornstørrelser opp til 50 mm i diameter. Store laboratorieknusere er en sjeldenhet i Norge i dag. Det finnes i 2019 sannsynligvis kun to større laboratorieknusere i Norge som kan produsere fraksjonen 31,5-50 mm; den ene tilhører entreprenøren TT Pukk i Mandal (TT = Terreng Transport), og den andre tilhører Norsk betong- og tilslagslaboratorium (NBTL) i Trondheim.

Los Angeles-verdier basert på analysefraksjon 10/14 mm har i ovenfor nevnte standard fått betegnelsen LA, mens tilsvarende for analysefraksjon 31,5/50 mm er  $LA_{RB}$ .

Dersom man bare har Los Angeles-resultater for fraksjon 10/14 mm (LA) og ønsker å forutsi hva utfallet vil bli for fraksjon 31,5/50 mm ( $LA_{RB}$ ), kan det ut fra Figur 1 anslås hva som kan forventes avhengig av hvor isotrop bergarten er. Som en grov hovedregel kan man si at resultatet vil bli omtrent det samme; LA er lik  $LA_{RB}$ .

I virkeligheten er sammenhengen noe mer nyansert. Når det forutsettes at bergarten ikke har noen tydelig skifrihet eller svakhetsplan, vil en økning av steinstørrelsene i analysefraksjonen føre til redusert knusing når Los Angeles-metoden benyttes. Verdiene for  $LA_{RB}$  blir som regel noe lavere enn for LA, og tilhørende punkter i diagrammet legger seg på undersiden av den skrå linjen angitt med blått i Figur 1. Når bergartene blir mer skifrige eller har tydelige svakhetsplan kan den grove fraksjonen oppnå svakere resultater (mer knusing) enn 10/14 mm fraksjonen. Punktene vil da legge seg på oversiden av den skrå linjen angitt med blått.





Figur 1: Sammenheng mellom Los Angeles-resultater ved bruk av analysefraksjonene 10/14 mm og 31,5/50 mm. Blå kvadrat [1], rød sirkel Statens vegvesen 2013, grønn trekant [2].

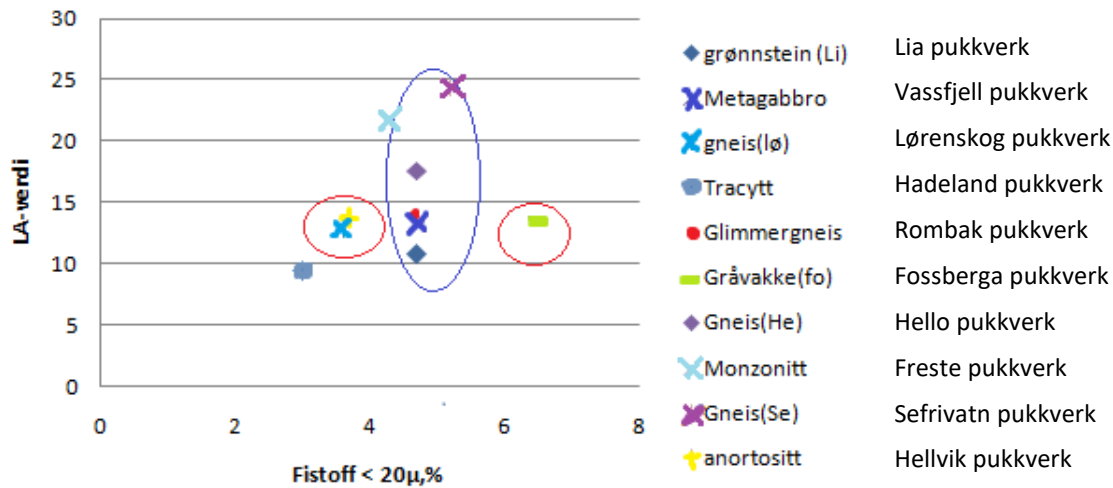
## 2.2 Steinmaterialers potensiale for finstoffproduksjon

Når for eksempel et bærelagsmateriale gradvis blir knust på grunn av trafikkbelastning, produseres det kornstørrelser som grus, sand, silt og finstoff (vanligvis korn finere enn 0,063 mm). Den relative fordelingen mellom fraksjonene i knusningsproduktet er sannsynligvis avhengig av mekanisk styrke, mineralfordeling og mineralkornstørrelse. For norske forhold er det særlig ulikheter i finstoffproduksjonen som er interessant.

For å undersøke dette ble Los Angeles-verdiene til 10 ulike bergarter dokumentert og mengden produsert finstoff ble målt. Som det framgår av Figur 2 viser resultatene stor spredning. Blant bergarter med for eksempel lik mekanisk styrke, er det stor forskjell på hvor mye finstoff som blir produsert. Det ble registrert at innholdet (vekt) av mengde korn finere enn 20  $\mu\text{m}$  (0,020 mm) kunne variere med nesten 100% mellom den som produserte minst og den som produserte mest finstoff [3]. Undersøkelsen antyder også at svake bergarter med Los Angeles-verdi på 24 kan produsere like lite finstoff som bergarter som er dobbelt så sterke (Los Angeles-verdi på 12).







Figur 2: Sammenhengen mellom mekanisk styrke og mengden av produsert finstoff. Mengde finstoff (her: korn mindre enn 0,020 mm i diameter) stammer fra knusningsproduktet etter Los Angeles-analysen (fraksjon 31,5-50 mm). Sefrvatn med LA-verdi på ca. 24 oppnår tilnærmet samme mengde produsert finstoff som Lia med en LA-verdi på ca. 11. Modifisert etter Bjerga [3].

En tilsvarende undersøkelse utført av West med flere [4] analyserte Los Angeles-verdien (1,6 mm) til 49 kalksteiner (pluss noen få andre bergarter) fra 12 stater i USA og siktet knuseproduktet i tillegg på sikt med åpning 0,178 mm. Undersøkelsene dokumenterte blant annet at like sterke bergarter kunne produsere høyst forskjellig mengde materiale med korn finere enn 0,178 mm diameter. En type kalkstein kunne produsere over tre ganger mer enn den som produserte minst. Kalkstein brukes ikke til veg- og jernbanebygging i Norge, men undersøkelsen støtter opp under påstanden om at ulike bergarter kan produsere høyst ulike mengder med finstoff ved knusing.

Dette er høyst interessante resultater som burde vært undersøkt nærmere for å lage en metode som kan dokumentere denne egenskapen. Kornstørrelser som grus og sand har liten innflytelse på et steinlags plastiske egenskaper. Finstoffet derimot sørger for at den indre friksjonen steinkornene imellom reduseres når det kommer fuktighet til. I tillegg kommer potensialet for å kunne utvikle telehiv ved større mengder med finstoff.

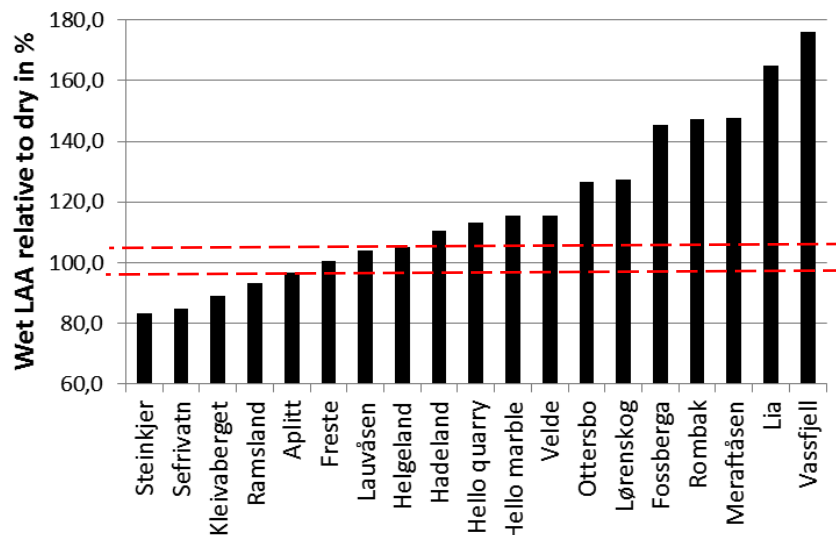


### 2.3 Effekt av fuktinnhold

Det finnes en rekke undersøkelser som viser at bergarters mekaniske styrke påvirkes av vanninnholdet i bergarten. Som en hovedregel kan man si at de fleste bergarter blir svakere når de suger til seg vann. Den eldste kjente undersøkelsen som dokumenterer denne egenskapen, stammer fra USA og ble utført i 1940 [5]. Svært mange styrketester, inklusive Los Angeles-testen, blir imidlertid fortsatt utført som en tørr test verden over.

Det bør være et hovedprinsipp for utarbeidelse av analyseprosedyrer at måling av motstanden mot knusing skal utføres i den tilstanden der bergarten er svakest [6]. Det kan derfor virke noe underlig at det ennå ikke er laget en variant for Los Angeles-metoden som tester bergarten i våt tilstand, selv nærmere 80 år etter at denne egenskapen ble kjent.

Nålsund [1] gjennomførte en større undersøkelse der Los Angeles-verdiene fra både tørr og våt analyse ble sammenliknet som vist i Figur 3. Totalt ble 19 ulike materialer til ballastpukk analysert, og Los Angeles-verdien for bergartene i tørr tilstand varierte mellom 9 og 25.



Figur 3: LA<sub>RB</sub>-verdier (31.5/50 mm) for vannmettede bergartsprøver uttrykt i prosent av tilhørende verdier fra tørre bergarter. Prikkede linjer viser ett standardavvik +/- (gjennomsnitt) som markerer størrelsen for naturlig variasjon ved repeterte analyser [1].

Søylene i Figur 3 viser hvor mye svakere (større enn 100 % på aksene) eller sterkere (lavere enn 100 %) bergartene ble når de ble undersøkt i våt tilstand sammenliknet med tilsvarende resultat fra tørr analyse. Størrelsen på hver søyle er beregnet på følgende måte:

- En monzonitt fra Freste pukkverk utenfor Tønsberg viste ingen endring i mekanisk styrke når den ble analysert i våt tilstand sammenliknet med tørr. Den tørre LA-verdien var 21,8 og den våte var 21,0, i praksis ingen endring siden den kan ligge innenfor naturlig variasjonsområde. For å gjøre endringene fra tørre til våte verdier om til relative verdier slik at bergartene kan sammenliknes med hverandre, settes 21,8 % lik 100 % og den relative endringen som i dette tilfellet ble satt til 0 % trekkes fra 100 % og vi har fortsatt 100 %. Tilhørende søyle i histogrammet når derfor opp til 100 % på vertikalaksen.



- En (meta-)gabbro fra Vassfjell pukkverk fikk ca. 76 % dårligere motstand mot knusing (relative prosent, gikk fra 13,3 til 23,4 %) når den ble testet i våt tilstand. Dette gir  $100\% + 76\% = 176\%$ .
- Helt til venstre i histogrammet ligger (meta-)sandsteinen fra Steinkjer pukkverk som fikk en styrkeforbedring på 17% når den ble analysert i våt tilstand ( $100\% - 17\% = 83\%$ ).

Helt konkret viser Figur 3 at bergarter med granittisk sammensetning som for eksempel pukkverkene Steinkjer i Steinkjer kommune, Sefrivatn i Grane kommune og Kleivaberget i Ringebu kommune (alle med høyt innhold av kvarts- og feltspatmineraler = lyse mineraler), kan få en økning i styrken når de suger opp vann, mens bergarter med høyt innhold av mørke mineraler (amfibol) som for eksempel pukkverkene Meraftåsen, Lia og Vassfjell kan få en betydelig reduksjon i styrken.

Når bergarter analyseres med tørr Los Angeles-metode (standard) vil de ovenfor nevnte resultatene ikke bli synlige, og resultatet kan bli misvisende.

Rent praktisk vil en våt Los Angeles-test medføre at arbeidet i lab for å utføre analysen øker betydelig. Luken på trommelen må gjøres tett, trommelen må spyles innvendig etter tromling for å kunne ta vare på alt knust materiale (vannsøl), og større mengder vann skal fordampes dersom steinmelet skal brukes til videre analyser. Dessuten vil vann introdusere rustdannelser i sylindren uten at det nødvendigvis skaper problemer på kort sikt. I tillegg vil det være behov for sluk i gulvet i rommet der trommelen står.



### 3. Forvitring i dagfjellsonen

Begrepet dagfjellssone stammer fra anleggsbransjen som har erfart at bygging av grunne tunneler og fjellrom ofte er forbundet med store problemer knyttet til bergstabilitet og vannlekkasjer. Stabilitetsproblemene viser seg i praksis som mer overmasse ved sprengninger, mye renskearbeid og mange ras eller utfall sammenliknet med tilsvarende anlegg på større dyp. Professor Rolf Selmer-Olsen prøvde i 1975 å karakterisere problemfjellet ved å dele det inn i flere soner [7], hvorav det som ble betegnet som "Den sentrale dagfjellssone" fikk følgende beskrivelse:

*«Den sentrale dagfjellssone. Denne sone ligger over den undre. Den har en vesentlig større sprekketetthet og permeabilitet enn det underliggende fjell. Dertil er sprekker parallelt overflaten vanlige. Rust finnes ofte på alle sprekker og sprekkeene er åpne og kommuniserende. Sammenhengen i fjellet er med andre ord brutt og horisontalspenningene er lik eller mindre enn hviletrykket. Bergarten som sådan er imidlertid tilnærmet frisk og uforvitret. Det er denne sone vi oftest tenker på når vi taler om dagfjell».*

Tykkelsen på dagfjellsonen mente Selmer-Olsen kunne strekke seg helt ned til 50 meter under terrengoverflaten. Det Selmer-Olsen ikke nevnte, eller ikke hadde kjennskap til, var at det overflatenære berget noen steder ser ut til å være påvirket av en ikke-synlig forvitring som reduserer bergartens mekaniske styrke sammenliknet med underliggende berg. Man kjenner ikke til hvor utbredt dette fenomenet er så lenge det ikke er regionalt undersøkt, men Nålsund [1] har dokumentert et par eksempler av fenomenet. Sefrivatn pukkverk i Grane kommune i Nordland (straks nord for Majavatn) og Freste pukkverk i Tønsberg kommune i Vestfold har fram til i dag drevet uttak i overflatenært berg. På begge stedene er det påvist at repetert knusing av det samme steinmaterialet fører til at materialet blir sterkere etter hver gangs knusing. Eksperimentet ble utført i laboratoriet med en rekke forsøk med treksielle spenninger og syklisk vertikal belastning av jernbaneballast.

I praksis vil man oppleve at når det tas ut prøver for analyse av berget som ligger under dagfjellet, vil den tilhørende mekaniske styrken være bedre enn ovenforliggende bergmasse. Tidligere kunne man bruke Fallprøven (eller Fallhammermetoden) til å framskaffe en antydning om man hadde å gjøre med materiale som stammet fra dagfjellsonen. Metoden brukes ikke lenger av verken Statens vegvesen eller Bane NOR og er erstattet med Los Angeles-metoden.

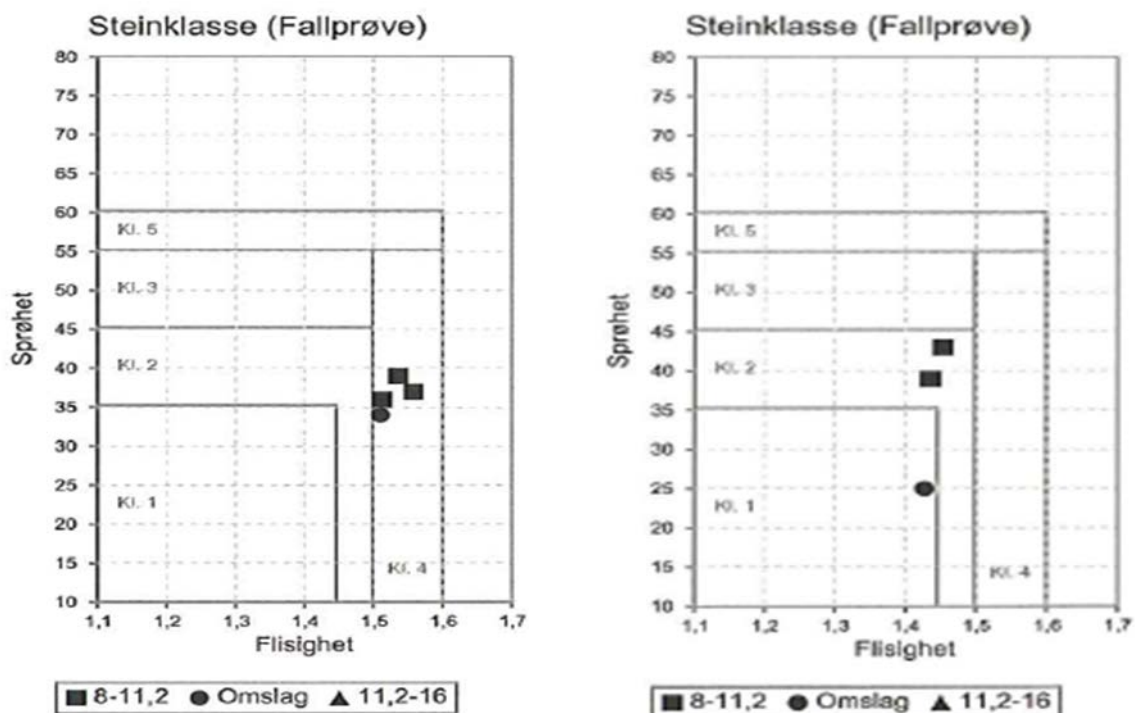
#### 3.1 Renaissance for fallhammermetoden

Det verdifulle ved Fallprøven eller Fallhammermetoden er at den ser ut til å være i stand til å påvise om en steinprøve stammer fra forvitret bergmasse med tilhørende redusert mekanisk styrke. Som en del av prosedyren ble analyse materialet knust to ganger (omslag). Motstanden mot knusing uttrykkes ved sprøhetstallet, og ved å sammenlikne sprøhetstallet fra første og andre gangs (omslag) knusing kan man si noe om steinmaterialet gjenvinner styrke. Dersom materialet stammer fra dagfjellsonen, kan styrkeforbedringen ved annen gangs knusing være betydelig. Dette er et varsel om at underliggende berg vil ha en bedre mekanisk styrke enn prøven fra dagfjellsonen. Videre kan dette brukes til å øke påliteligheten til forundersøkelser ved tunnelanlegg der det er aktuelt å bruke overskuddsmasser fra tunneldrivingen til byggetekniske formål. Det finnes ikke noen annen enkel laboratorieanalyse i dag som kan avsløre om et steinmateriale er forvitret.

Figur 4 viser hvordan sprøhetstallet ved omslag kan variere. I skjemaet til venstre gir omslaget ingen endring av styrken, og fjellet antas å ikke være påvirket av forvitring. Skjemaet til høyre viser at omslaget har gitt en betydelig styrkeforbedring på ca. 39 % (reduksjon fra knapt 42 (gjennomsnitt) til 25) hvilket er en betydelig forbedring. Dette tolkes til å være materiale fra dagfjellsonen. Kvaliteten



til overskuddsmassen fra en eventuell tunnel gjennom området forventes å ha en mekanisk styrke som er bedre enn 42, men hvor mye bedre finnes det ennå ingen erfaring med.



Figur 4: Sprøhetsresultater fra overflateprøver fra forundersøkelser til Fellesprosjektet langs Mjøsa (ny E6 og dobbeltsporet jernbane) i 2010. Til venstre en metagabbro fra Søgardsveien, prøvested nr. 8. Densitet 2,87. Omslaget viser ingen tydelig forbedring av sprøhetstallet. Til høyre en finkornet granittisk gneis fra Støjordet ved E6 (samme prosjekt), prøvested nr. 2. Densitet 2,67. I dette tilfellet viser omslaget en betydelig styrkeforbedring. Fallprøven er identisk med begrepet Fallhammermetoden.

Fallhammerapparatet er ikke lett tilgjengelig i dag. Etter at Vegvesenet rundt 2008 kasserte alle sine apparater, finnes det i dag sannsynligvis bare 2 eksemplarer igjen; begge i NTNU-Sintef miljøet i Trondheim (Institutt for geovitenskap og petroleum og Institutt for bygg- og miljøteknikk). Som beskrevet ovenfor ble fallhammermetoden erstattet med Los Angeles-metoden på 2000-tallet. Det uheldige med dette metodeskiftet var at det ikke lenger ble mulig å identifisere materiale fra dagfjellsonen (gjenvinning av styrke ved repetert knusing). I dag er det bare Fallprøven som er i stand til dette. Knuseprosessen hos Los Angeles-metoden med analysefraksjon 31,5/50 mm påfører steinmaterialet nesten utelukkende kantslitasje og omtrent ingen knusing av de større kornene. Materialet kan derfor ikke å bli analysert to ganger (repetere forsøket). Det gir ingen nyttig informasjon.

Hensikten med å trekke fram en metode som ikke lenger er i vanlig bruk, er å vise at pukkverk som har utfordringer med å få steinmaterialet sitt godkjent på grunn av for høye Los Angeles-verdier bør undersøke om de driver i dagfjellsonen. Det underliggende berget kan ha en bedre styrke. I tillegg bør de som står bak forundersøkelser til tunnelanlegg der prøvetaking nødvendigvis må foregå i tilgjengelige vegskjæringer eller på bergblotninger, ta disse forholdene med i betraktningene om hva overskuddsmassene fra tunnelene kan brukes til. Forundersøkelser av bergkvalitet basert på overflateprøver ved hjelp av Los Angeles-metoden kan undervurdere den framtidige overskuddsmassens mekaniske styrke.



### 3.2 Eksempelet Sefrivatn pukkverk

Nedenforstående eksempel fra Sefrivatn pukkverk i Grane kommune i Nordland viser hvilke dimensjoner man har med å gjøre. Bildet til venstre i Figur 5 er tatt i 2010 og viser steinbruddet etter at driften ble lagt ned omkring 1990. Pukkverket ble etablert rett før andre verdenskrig for å forsyne Nordlandsbanen med steinmaterialer og ballastpukk. Problemet i dette tilfellet var at steinmaterialet ikke tilfredstilte styrkekravet til ballastpukk. Nordlandsbanen var i 2016 interessert i å ta opp igjen driften av steinbruddet og det ble tatt nye prøver av berget for å se om steinreservene i bruddet kunne tilfredsstille de nye kravene til Los Angeles-verdi.



Figur 5: Sefrivatn pukkverk i Grane kommune. Etablert av Norges Statsbaner for å levere pukk til byggingen av Nordlandsbanen. Bilde til høyre viser vertikalfoto av steinbruddet med plan for uttak av steinprøver for nye analyser av mekanisk styrke. Prøve 1 til 3 nede ved riksveien representerer terrengprøver (dagfjellsonen) og prøve 4 til 9 tas i sålen av bruddet som antas å ligge under dagfjellsonen.

Bildet til høyre i Figur 5 viser prøvetakingsplanen. 6 prøver ble tatt ut i bunnen av steinbruddet (nr. 4 til 9) ved sprengning, og tre prøver ble hentet fra original fjelloverflate (sprengning) langs tilkomstvegen til bruddet (nr. 1 til 3). Resultatene for materialene som ble hentet fra sålen viser en gjennomsnittsverdi for Los Angeles på 17,4 % og terrengprøvene (dagfjellsonen) oppnådde en Los Angeles-verdi på 22,8% (gjennomsnitt). Dette gir en forbedring av mekanisk styrke på ca. 24 %.

Det antas at sålen i steinbruddet i dag ligger ca. 10-15 meter under original terrengoverflate. Basert på disse undersøkelsene ble det satt i gang ny drift i steinbruddet i 2018. Man vet ennå ikke om resultatene fra sålematerialet er representative for steinreservene i bruddet eller om forbedringen kanskje blir enda bedre når man kommer dypere ned i bergarten.



#### 4. Blanding av svake og sterke steinmaterialer

For å kunne bruke et i utgangspunktet svakt steinmateriale kan det være aktuelt å blande inn et sterkere materiale, slik at blandingen samlet får en Los Angeles-verdi som er innenfor kravet for de ulike bruksområdene. Graden av forbedring vil naturlig nok avhenge av blandingsforholdet, men det er ikke likegyldig hvilken bergart pukken lages av. Dersom det nye steinmaterialet består av en annen og sterkere bergart og bergartsdensiteten til den nye er omtrent lik den eksisterende, vil det blandete materialet (avhengig av blandingsforholdet) kunne få en økning i motstanden mot knusing og dermed en lavere (bedre) Los Angeles-verdi.

Eksempelvis; når en bergart A med Los Angeles-verdi 24 (analysefraksjon 31,5-50 mm) blandes med en bergart B med Los Angeles-verdi 15 hvor blandingsforholdet er 0,75 av A og 0,25 av B, vil det nye steinmaterialet oppnå en Los Angeles-verdi på knapt 22 forutsatt at bergartsdensiteten til bergart A og B er omtrent lik. Men når bergartsdensitetene til de to bergartene er betydelig forskjellig, kan resultatet bli ganske mye dårligere enn den dårligste av bergartene.

En gabbro fra Strømmen pukkverk med Los Angeles-verdi 24,2 og densitet 3,11 ble tilsatt 10 % av en kvartsitt fra Torp pukkverk med Los Angeles-verdi 17,3 og densitet 2,63. Ved kontrollanalysen av det sammensatte materialet økte Los Angeles-verdien til 30,1, det vil si en økning på 25 % og stikk i strid med tidligere erfaring. Tilhørende micro-Deval-verdier var henholdsvis 8,0 (gabbro) og 5,3 (kvartsitt). Her ble resultatet 8,3 med 10 % kvartsitt-innblandet. Heller ikke her ble forbedringen som forventet med ingen eller en svak økning (dårligere) som resultat.

Årsaken til dette urovekkende resultatet er ikke funnet, men det kan ha sammenheng med at den tunge gabbroen antas å ha dobbelt så høy E-modul sammenliknet med kvartsitten. Forsøket er ikke repetert, men resultatet er såpass interessant at fenomenet burde ha vært undersøkt nærmere.



## 5. Referanser

- [1] R. Nålsund, «Railway ballast characteristics, selection criteria and performance. Doktorgradsavhandling ved Norges Teknisk Naturvitenskaplige Universitet, Trondheim,» 2014.
- [2] K. Sævik, «Krav til bære- og forsterkningslag – gjeninnføring av krav til abrasive egenskaper i vegfundament. Masteroppgave, Norges Teknisk Naturvitenskaplige Universitet, Trondheim, pp.101/189.,» 2007.
- [3] T. R. Bjerga, «Investigation of mechanical degradation and accompanying production of fines from crushed aggregates for road and railway purposes (In Norwegian). Masteroppgave, Norges Teknisk Naturvitenskaplige Universitet, Trondheim, pp.115,» 2011.
- [4] T. R. West, R. B. Johnson og N. M. Smith, «West, T.R., Johnson, R.B. and Smith, N.M. (1970): Tests for evaluating degradation of base course aggregates. National Cooperative Highway Research Program, Report 98, pp.94. Washington DC,» 1970.
- [5] D. Kessler, H. Insley og W. H. Sligh, «Physical, mineralogical and durability studies of the building and monumental granites of the United States,» *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 25: 161-206, 1940.
- [6] E. Broch, «Punktlasttesten og dens anvendelse i ingeniørgeologi. Rapport nr. 2 fra Geologisk Institutt, NTH,» 1972.
- [7] R. Selmer-Olsen, «Begrepet dagfjell og tunnelbygging. Fjellsprengningskonferansen. Norsk forening for fjellsprengningsteknikk,» 1975.
- [8] Standard Norge, *NS-EN 1097-2:2010, Prøvmingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 2: Metoder for bestemmelse av motstand mot knusing*, 2010-06-01.







# KORTREIST STEIN



Statens vegvesen



HORDALAND  
FYLKESKOMMUNE



NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE  
- NGU -



BERGEN  
KOMMUNE

Multiconsult



asplan viak

BANE NOR

NTNU



SINTEF

 **Forskningsrådet**

Støttet av Norges forskningsråd

